



TITLE:

# Study on High Temperature Superconducting Coil System for Magneto Plasma Sail Spacecraft( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Yoh, Nagasaki

---

CITATION:

Yoh, Nagasaki. Study on High Temperature Superconducting Coil System for Magneto Plasma Sail Spacecraft. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19310>

RIGHT:

京都大学	博 士 (工 学)	氏名	長崎 陽
論文題目	Study on High Temperature Superconducting Coil System for Magneto Plasma Sail Spacecraft (磁気プラズマセイル宇宙機搭載用高温超伝導コイルシステムに関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、次世代の宇宙推進システムである磁気プラズマセイル用高温超伝導コイルシステムの研究開発によって、同宇宙推進システムの推進性能（推力質量比）向上に取り組んだ成果をまとめたものであって、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の研究背景として従来および次世代の宇宙推進システム、本研究の研究対象である高温超伝導体の電磁的特性について述べている。また、磁気プラズマセイルに関する先行研究を総括し、実現に向けた現状の課題を明らかにすることで、本論文の目的である磁気プラズマセイル用高温超伝導コイルシステムの研究開発の必要性・目的を述べている。</p> <p>第2章では、高温超伝導コイルの熱解析モデル構築のために、高温超伝導線材の伝熱特性を明らかにした成果について述べている。1次元、2次元系で解析可能な2種類の冷却系において熱入力試験を行い、それぞれの測定結果を1次元および2次元の熱伝導解析により再現することで、高温超伝導線材の熱拡散率を推定している。また、解析の結果、ビスマス系高温超伝導線材に比べ、イットリウム系高温超伝導線材の厚み方向への熱拡散率が約5桁程度低いことを明らかにしている。</p> <p>第3章では、高温超伝導コイルの通電特性・熱安定性解析モデルを構築した成果について述べている。伝導冷却下においてビスマス系高温超伝導コイル（径30 cm、260ターン）への通電試験を行い、解析結果との比較を行うことで、構築したモデルの正当性を検証している。比較の結果、超伝導コイルの臨界電流および通電時における熱安定性を精度よく推定することに成功している。また、解析の結果、伝導冷却下においては、従来の基準に基づく臨界電流と熱暴走を起こす電流値が大きく異なることを示すと共に、高温超伝導線材の長手方向における特性のばらつきがコイル特性に与える影響を明らかにしている。</p> <p>第4章では、高温超伝導コイル運用時にコイル内に誘導される遮蔽電流をモデル化し、コイル磁場へ与える影響を調べている。解析および実験の結果、ビスマス系超伝導コイルを用いた場合、遮蔽電流による磁場がコイル磁場へ与える影響は1-2%と比較的小さく、磁気プラズマセイルの推力への影響も小さいことを示している。また、磁気プラズマセイルに使用する軽量の電源系の出力変動が、超伝導コイルの熱安定性に与える影響について調べている。解析の結果、コイル熱安定性が電源のリプル成分の振幅に大きく依存するため、磁気プラズマセイルにおいては、通常より低い電流値でのコイル運用が必要であることを示している。</p> <p>第5章では、磁気モーメントの高温超伝導コイル形状依存性について述べている。H-II A ロケット搭載可能サイズ（径 &lt; 4 m）において、構築したモデルを用いて電磁的熱的特性を解析し、様々なコイル形状における磁気モーメントを算出している。その結果、仮定した磁気プラズマセイルの冷却条件下では、コイル径・高さが大きい場合に通電・冷却特性が向上し、磁気モーメントが大きく増加することを明らかにしている。また、イットリウム系コイル、ビスマス系コイルの磁気モーメントを比較すると、線材強度および高磁場下における通電特性が優れるイットリウム系コイルにおいて磁気モーメントがより大きくなることを示している。さらに、円形コイルに比べ、レー</p>			

京都大学	博 士 (工 学)	氏名	長崎 陽
<p>ストラック型コイルやマルチポール型コイルを用いた場合、線材が経験する磁場が小さくなり、その結果、臨界電流が向上し磁気モーメントがより大きくなることを明らかにしている。</p> <p>第6章では、磁気モーメント質量比最大化を目的として、高温超伝導コイルシステムの最適化を行った成果について述べている。コイル内発熱および冷却条件・熱侵入（放射冷却板で遮断できなかった太陽熱、電流リード発熱、サポート構造からの侵入熱）を考慮しコイル熱安定性を制約条件とした上で、コイル形状、冷却系構成を最適化している。高温超伝導コイルの形状としては円形、マルチポール型、レーストラック型コイルを仮定し、コイル冷却系としては、多層の放射冷却板を用いた放射冷却システムを用いている。また、コイル軸が太陽方向に対して平行および垂直の場合についてそれぞれ検討している。大域的最適化手法である遺伝的アルゴリズムを用いた最適化の結果、冷却系質量やコイル性能を考慮すると、コイル運転温度 20 K において高温超伝導コイルシステムの磁気モーメント質量比が最大となることを明らかにしている。また、コイル形状としては、径・高さが大きいレーストラック型コイルにおいて磁気モーメント質量比が最大となり、従来の研究結果に比べて磁気モーメント質量比約 3 倍の向上が可能であることを示している。本論文により、高温超伝導コイルシステム構成を再検討することで、磁気プラズマセイルの推進性能（推力質量比）の大幅な向上が可能であることが明らかになった。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、宇宙環境を利用した宇宙推進システムである磁気プラズマセイルの推進性能（推力質量比）向上を目的として、同宇宙機用高温超伝導コイルシステムの研究開発についてまとめられたものである。具体的には、(1) 実験結果との比較により高温超伝導コイルの電磁的熱的諸特性を解析するモデルを構築し、(2) 高温超伝導コイルおよび同システムの最適化を通して、磁気プラズマセイル用高温超伝導コイルシステムの磁気モーメント質量比最大化に取り組んでいる。本論文で得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 高温超伝導コイルの非線形な通電特性は、自身の作る磁場、その向き、温度および応力に依存するが、同特性を正確に解析するモデルがこれまで確立されていなかった。本論文では、磁気プラズマセイル用コイル設計に際して、高温超伝導コイルの通電特性、熱安定性、交流損失、コイル内遮蔽電流、応力分布を考慮した正確なコイル設計モデルを新たに構築している。また、磁気プラズマセイル用スケールダウンモデルコイルを用いて、構築したモデルの妥当性の検証に成功している。さらに、構築したモデルを用いて、高温超伝導コイルの様々な電磁的熱的特性の解明に取り組んでいる。

2. 磁気プラズマセイルによって得られる推力は、搭載するコイルの磁気モーメント（電流×ターン数×コイルが囲む面積）に比例する。本論文では、磁気プラズマセイルの推進性能（推力質量比）向上を目的として、高温超伝導コイルシステムの磁気モーメント質量比最大化に取り組んでいる。具体的には、構築したコイル設計モデルを用いて、コイル内発熱、外部からの熱侵入、冷却条件を考慮し熱安定性を制約条件とした上で、磁気モーメント質量比が最大となるコイルシステム構成を検討している。コイルシステム最適化の結果、コイル運転温度 20 K において、先行研究による成果に比べて磁気モーメント質量比約 3 倍の向上が可能であることを示している。

以上要するに本論文は、新たな高温超伝導コイルの解析モデルを構築し、宇宙機用超伝導コイルシステムを最適化することで、次世代の宇宙推進システムの大幅な性能向上が可能であることを示しており、宇宙利用の拡大・科学技術の発展に大きく貢献するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 8 月 21 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： 平成 27 年 9 月 24 日以降